
КОНЦЕПЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ РЫНКОВ

Тютюников Александр Александрович, канд. экон. наук, доц.

НИИЭОАПК ЦЧР – филиал ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева»,
ул. Серафимовича, 26а, Воронеж, Россия, 394042; e-mail: tytnn@rambler.ru

Цель: статья посвящена вопросам использования системно-динамического инструментария для имитационного моделирования рынков сельскохозяйственного сырья и продовольствия. *Обсуждение:* предлагаемый в исследовании подход основан на непрерывно-детерминированном моделировании процессов производства, распределения и потребления продукции, формирования цен, спроса и предложения. В качестве основных гипотез модели приняты: частичное равновесие на рынке, складывающееся в результате взаимовлияния цен, спроса и предложения; динамичный характер предпочтений (в т.ч. неценовых) потребителей и производителей продукции; специфический характер предложения, связанный с особенностями аграрных отраслей; возможность вмешательства в процессы со стороны государственных регуляторов. В соответствии с данными гипотезами разработаны ключевые механизмы модели: механизм частичного рыночного равновесия на основе модифицированной модели Эванса, механизмы импорта и экспорта на основе модели Армингтона, механизм замедленной реакции предложения, механизм ценовых шоков и др. *Результаты:* предлагаемая модель визуализирована и параметризирована в соответствии с идеологией системной динамики. Намечены основные направления ее апробации и проведения направленных вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: рынок сельскохозяйственного сырья и продовольствия, имитационное моделирование в АПК, системная динамика, модель Эванса, модель Армингтона, модель ценовых шоков.

DOI: 10.17308/meps.2020.11/2466

Введение

Форма модели, предлагаемой в данной работе для исследования аспектов развития агропродовольственных рынков (АПР), определена самой сущностью ее предмета. Развитие объектов моделирования предполагает их изменение во времени, поэтому модель должна иметь динамические механизмы. Взаимодействие и взаимовлияние различных субъектов рынка,

а также возможность реализации функции управления его процессами, предполагает особую роль системного подхода как метода исследования. Широкий диапазон целевых установок развития рынков аграрного сырья и продовольствия, разнообразие их факторов и механизмов, вероятностный и контринтуитивный характер процессов побуждают отдать предпочтение экспериментальным и когнитивным инструментам исследования, следовательно – имитационному моделированию. Таким образом, обосновывается выбор методологии системно-динамического имитационного моделирования для решения задач настоящего исследования.

Предпосылки модели

Основными обобщенными этапами системно-динамического моделирования являются [3, с. 68]:

1. Концептуализация проблемной ситуации.
2. Построение системных потоковых диаграмм.
3. Параметризация модели.

Стадия концептуализации предполагает формулирование проблемы, анализ исходной информации, формулирование гипотез и целей моделирования, выявление границ исследуемой системы, обоснование структуры модели, систематизацию и описание моделируемых процессов.

В качестве основных действующих сторон модели развития АПР предлагается рассматривать следующие укрупненные группы субъектов: группу потребителей, включающих в себя как конечных потребителей продовольствия на розничном рынке, так и промежуточных потребителей сельскохозяйственного сырья в аграрном секторе и переработке; группу производителей, включающих в себя всех субъектов, ответственных за производство и распределение на рынке внутренней продукции; группу регуляторов, не относящихся ни к потребителям, ни к производителям, но могущих оказывать управляющее воздействие на рыночные процессы для реализации собственных целей.

В качестве основных динамических процессов модели рассматриваются: производство, распределение и потребление продукции на внутреннем рынке, формирование цен, спроса и предложения, ввоз и вывоз продукции на внешний рынок. Регуляторы обладают инструментами воздействия на данные процессы, результативность использования которых может анализироваться путем оценки значений выходных переменных модели на основании некоторых критериев. В качестве ключевых параметров модели приняты показатели, характеризующие уровни потребления, производства, мировых цен, обменного курса национальной валюты. Целью моделирования являются: 1) получение возможных сценариев среднесрочного развития АПР в условиях различных вариантов реализации параметров модели; 2) нахождение параметров действий регуляторов, позволяющих достигать желательных для них вариантов сценария.

В качестве принципиальных гипотез разрабатываемой системно-динамической модели развития АПР предлагаются следующие:

1. Основным механизмом модели является динамическое балансирование взаимовлияющих: 1) внутренней цены, 2) предложения продукции внутренними производителями и 3) спроса на продукцию со стороны внутренних потребителей.

2. Часть внутреннего спроса может удовлетворяться импортной продукцией, а часть производства – идти на экспорт. Объемы импорта и экспорта могут определяться как условиями внешней торговли (соотношением цен на внутренних и внешних рынках), так и недостатком или избытком произведенной продукции. Цены и объем импорта и экспорта могут влиять на внутренний баланс цен, спроса и предложения.

3. Реакция аграрных производителей на изменение спроса может быть замедленной, что обуславливается длительным производственным циклом, специфической структурой капитала и многоукладным характером производства.

4. Регулятор может вмешиваться в механизмы спроса, предложения, экспорта и импорта путем корректирования параметров цен (тарифно-таможенная политика, интервенции), производства (субсидирование, квотирование, налогообложение) и потребления (налогообложение, стимулирование).

Модель Эванса (модель Вальраса-Эванса-Самуэльсона) в настоящее время является одной из базовых концепций, объясняющих динамическое установление равновесной цены на рынке одного товара под воздействием спроса и предложения [1, с. 97, 2, с. 197,5]. В данной модели цена товара p представлена в виде функции времени t , а спрос d и предложение s рассматриваются в виде функций от цены:

$$p = p(t), \quad d = \varphi(p), \quad s = \psi(p). \quad (1)$$

Изменение цены во времени постулируется пропорциональным разнице между спросом и предложением:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \gamma(d - s), \quad \gamma > 0. \quad (2)$$

Таким образом, описав функциональные зависимости $\varphi(p)$ и $\psi(p)$, можно однозначно определить значения p , d и s в любой момент времени t и определить равновесную цену p^* , где $s = d$ и $\partial p / \partial t = 0$. Например, если функции спроса и предложения от цены линейны:

$$d = \varphi(p) = a - bp, \quad a > 0, \quad b > 0, \quad (3)$$

$$s = \psi(p) = \alpha - \beta p, \quad \alpha > 0, \quad \beta > 0 \quad (4)$$

и $a > \alpha$ (при нулевой цене спрос логично превышает предложение), то дифференциальное уравнение изменения цены принимает вид:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\gamma(b + \beta)p + \gamma(a - \alpha). \quad (5)$$

Данное уравнение, называемое также формулой Самуэльсона [5], имеет стационарную (равновесную) точку, представляющую собой положительную цену, при которой спрос и предложения будут равны:

$$p^* = \frac{a-\alpha}{b+\beta} > 0. \quad (6)$$

Однако модель Эванса по умолчанию рассматривает закрытый рынок, где нет импорта и экспорта, поэтому не может быть включена в модели со внешней торговлей в неизменном виде. Логичным представляется включить в тело дифференциального уравнения прироста цены некоторую функцию от цены импортной продукции $\chi(p_i)$, проникающей на рынок, таким образом, чтобы, например, дешевый импорт увеличивал внутренний спрос на товар, и, конкурируя с внутренним производством, снижал внутреннее предложение:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \mu\gamma(d - s) + (1 - \mu)\chi(p_i), \quad \gamma > 0, \quad 0 < \mu < 1, \quad (7)$$

где μ – коэффициент, позволяющий моделировать влияние на цену факторов спроса-предложения и импорта. Внесенные изменения несколько изменяют смысл элементов функции: предложение s в ней является теперь предложением продукции исключительно внутреннего производителя и может быть не равным спросу; разница между спросом и предложением в данном случае компенсируется импортом. Модифицированная подобным образом модель Эванса становится моделью частичного равновесия на рынке: за счет сохранения обратной связи уравнения цены с уравнениями спроса и предложения их балансирование продолжается, но постоянно нарушается экзогенным фактором цены импорта.

Кроме того, использование линейных функций спроса и предложения на продукты продовольствия представляется слишком грубой абстракцией. Например, существенное снижение цены на продовольственный товар от равновесного уровня должно вызвать существенный рост спроса согласно теоретической линейной функции, однако на деле это не так – сложившиеся паттерны питания в значительной степени ограничат увеличение потребления, кроме того, каждая последующая единица продукта будет обладать для потребителя меньшей полезностью. Поэтому для описания спроса и предложения продовольствия логично использовать степенные функции [7, с. 152] вида:

$$d = \varphi(p) = ap^{\kappa}, \quad a > 0, \quad \kappa < 0, \quad (8)$$

$$s = \psi(p) = bp^{\sigma}, \quad b > 0, \quad \sigma > 0, \quad (9)$$

где κ и σ являются эластичностями спроса и предложения по цене соответственно. Степенные функции являются функциями с постоянной эластичностью, которую удобно использовать для параметризации спроса и предложения различных видов сельскохозяйственной продукции и продовольствия [7, с. 44, 12; с. 152].

Моделирование предложения агропродовольственных товаров вну-

тренними производителями затрудняется тем, что оно может повышаться и понижаться вне зависимости от динамики цены, так как объемы производства 1) могут зависеть от погодных исходов и 2) могут реализоваться дискретно, т.е. в короткий отрезок календарного года. Таким образом, модель должна предусматривать механизмы неценовых колебаний предложения и ценовых шоков.

В ситуации дефицита внутреннего производства логично приравнять величину предложения d к величине, равной сумме производства товарной продукции q и импорта v за вычетом экспорта u , по тем или иным причинам сохраняющегося в условиях дефицита (например, ввиду особенностей территориальной структуры производства). Триггером дефицита может служить снижение рыночных запасов ниже некоторого критического объема или превышение текущего внутреннего спроса d над суммой товарной продукции и импорта за вычетом экспорта. В таком случае функция предложения примет вид:

$$s = q - u, \quad d > q + v - u, \quad (10)$$

где q – объем товарной продукции; u – объем сохраняющегося экспорта.

Моделирование неценового роста предложения в ситуации избыточности внутреннего производства можно осуществить корректированием величины предложения на разность величин рыночных запасов и их верхнего критического уровня. При этом необходимо учесть, что при небольшом превышении критического уровня влияние на предложение должно быть минимальным, так как продовольствие и сельскохозяйственное сырье могут определенное время храниться без потери качества, а производители могут иметь позитивные ожидания относительно рыночной ситуации. Дальнейшее превышение критического уровня должно приводить к быстрому росту предложения; в определенный момент практически весь избыток должен конвертироваться в предложение. Подобные условия могут быть смоделированы при помощи логистической функции, которой характерны медленный начальный рост, дальнейшее ускорение и медленный конечный рост [4, с. 59]:

$$f(x) = \frac{A_0}{1 + A_1 e^{-\eta x}} \quad (11)$$

где A_0 – верхняя горизонтальная асимптота функции; η – параметр скорости роста функции; A_1 – параметр смещения точки перегиба x^* , в которой $f(x^*) = \frac{A_0}{2}$. В случае, когда $A_0 = 1$ (например, моделируется некий процесс, имеющий интенсивность от 0 до 100%), а точка перегиба не смещена, можно использовать следующую форму логистической функции:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\eta(x-x^*)}} \quad (12)$$

где в качестве аргумента фактически рассматривается удаление текущего значения переменной от точки перегиба.

Для вычисления доли избытка рыночной продукции, корректирующей предложение, предлагается следующая функция:

$$\xi = f\left(\frac{G}{U}\right) = \frac{1}{1 + e^{-\eta\left(\frac{G}{U} - \omega\right)}} \quad (13)$$

где G – текущая величина рыночных запасов; U – верхний критический уровень рыночных запасов; ω – точка перегиба функции (то соотношение G/U , при котором $\xi = 0,5$).

В функции предложения в ситуации избыточности внутреннего производства значение ξ предлагается использовать как коэффициент с диапазоном значений от 0 до 1, показывающий, насколько интенсивно излишек запасов на рынке влияет на предложение:

$$s = \psi\left(p, \frac{G}{U}\right) = bp^\sigma + \xi(G - U) = bp^\sigma + \frac{G - U}{1 + e^{-\eta\left(\frac{G}{U} - \omega\right)}} \quad (14)$$

Методологию моделирования объемов импорта и экспорта предлагается основывать на использовании функции с постоянной эластичностью замещения (Constant elasticity of substitution function, CES-функция). CES-функции используются для описания агрегирования двух или более типов производственных ресурсов, полезностей, товаров и иных благ, могущих заменять друг друга с постоянной эластичностью [11]. В качестве примеров производственных функций с постоянной эластичностью замещения можно привести функции Кобба-Дугласа и Леонтьева. CES-функция спроса на потребительские товары, способные замещать друг друга, описана в работе П. Армингтона [9], поэтому в литературе зачастую носит название функции, агрегатора или модели Армингтона. Согласно данной функции, объем импорта X_{ij} i -го товара из j -й страны на внутренний рынок определяется, как:

$$X_{ij} = b_{ij}^{\sigma_i} X_i \left(\frac{p_{ij}}{p_i}\right)^{-\sigma_i}, \quad \sigma_i > 0, \quad (15)$$

где X_i – совокупный спрос на товар i -го вида на внутреннем рынке; p_i – средняя цена на товар i -го вида на внутреннем рынке; p_{ij} – цена на товар i -го вида, импортируемый из j -й страны; b_{ij} – константа, означающая «склонность» внутренних потребителей приобретать товар i -го вида, импортируемый из j -й страны (в силу неценовых предпочтений); σ_i – постоянная перекрестная эластичность спроса на импорт товара i -го вида по цене товара внутреннего производства.

По нашему мнению, согласно своей внутренней логике, модель Армингтона может быть модифицирована для определения объема экспорта внутренней продукции Y_{ij} :

$$Y_{ij} = d_{ij}^{1/\lambda_i} Y_i \left(\frac{p_i}{\hat{p}_{ij}}\right)^{-1/\lambda_i}, \quad \lambda_i > 0, \quad (16)$$

где Y_i – совокупное предложение товара i -го вида внутренними производителями; p_i – средняя цена на товар i -го вида на внутреннем рынке; \hat{p}_{ij} – цена на товар i -го вида, экспортируемый на рынок j -й страны; d_{ij} – константа, означающая «склонность» внутренних производителей поставлять товар

i -го вида в j -ю страну; λ_i – постоянная эластичность предложения на экспорт товара i -го вида по цене экспорта.

Помимо этого, часть импорта и экспорта может обуславливаться физическим дефицитом или избытком товара на рынке, поэтому в модели должны быть предусмотрены компенсаторные механизмы. Например, при внутреннем предложении, в значительной степени недостаточном для покрытия внутреннего спроса (например, при неурожае), к объему импорта, рассчитываемого по CES-функции, должен добавиться объем импорта, покрывающий дефицит товара.

Моделирование замедленной реакции предложения аграрных производителей на изменение спроса может осуществляться включением в функцию предложения цены прошлого периода, отстоящего от настоящего периода t на n единиц времени:

$$s_t = \psi(p) = bp_{t-n}^k, \quad b > 0, \quad k > 0. \quad (17)$$

Такой способ моделирования представляется логичным для производств с непрерывным получением продукции – животноводства, тепличного овощеводства, молочной, мясной, мукомольной, маслоэкстрактивной промышленности и т.п.

Кроме того, «запаздывающая реакция» предложения во отраслях, где получение продукции происходит в течение относительно короткого периода (практически все отрасли растениеводства, производство шерсти), можно моделировать при помощи годовых производственных исходов y_j , определенные доли которых o_{tj} будут поставляться на рынок в течение ряда периодов, последующих за урожаем. Тогда объем товарной продукции q в период времени t будет рассчитан, как:

$$q_t = o_{tj}y_j + o_{tj-1}y_{j-1}, \quad (18)$$

где y_j – урожай j -го года; y_{j-1} – урожай предыдущего года; o_{jt} – доля урожая j -го года, поставляемая на рынок в t -м периоде; o_{tj-1} – доля урожая прошлого года, поставляемая на рынок в t -м периоде. При помощи подобного механизма можно также моделировать предложение товаров перерабатывающих отраслей, в силу объективных причин способных получать сырье лишь в ограниченный период времени, например, сахарной или плодово-овощной консервной промышленности.

Корректирование рыночных механизмов со стороны регулятора предлагается моделировать при помощи наборов параметров (профилей), отражающих стратегии регуляторов. Профили стратегий могут включать в себе параметры тарифного и нетарифного регулирования, поддержки производителей и потребителей и т.п. Расчет целевого показателя стратегии регулятора должен производиться с учетом корректировки на параметры соответствующего профиля. Например, цена импортной продукции p на внутреннем рынке может определяться путем корректирования мировой цены w на параметры комбинированной ставки таможенной пошлины:

$$p = \begin{cases} wr(1 + k), & wk > s \\ sr, & wk \leq s' \end{cases} \quad (19)$$

где r – обменный курс национальной валюты; k – адвалорная ставка таможенной пошлины; s – специфическая ставка таможенной пошлины.

Методика моделирования

На основании изложенных принципиальных гипотез и в соответствии с правилами графической символики системной динамики [3, с. 66] была построена системная потоковая диаграмма концептуальной имитационной модели развития АПР (рис. 1).

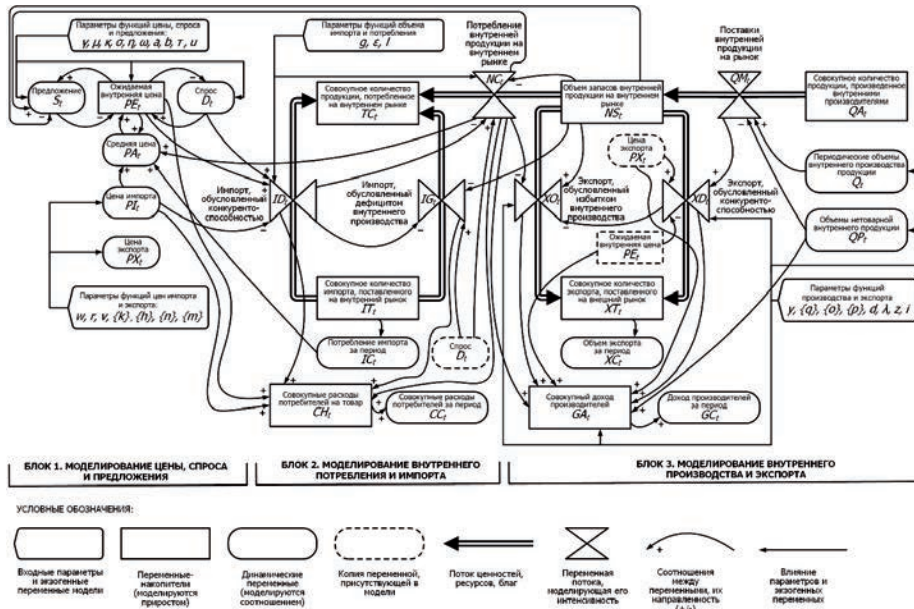


Рис. 1. Системная потоковая диаграмма концептуальной имитационной модели развития АПР

Параметризация модели приведена ниже.

БЛОК 1. Моделирование цены, спроса и предложения.

1. Ожидаемая внутренними производителями внутренняя цена товара PE в период времени t задается уравнением:

$$PE_t = PE_{t-1} + \frac{\partial PE_t}{\partial t} \quad (20)$$

2. Изменение ожидаемой цены на внутреннем рынке представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка (согласно (7)):

$$\frac{\partial PE_t}{\partial t} = \mu\gamma(D_t - S_t) + (1 - \mu)(PA_t - PE_t), \quad (21)$$

где D_t – спрос внутренних потребителей на внутреннем рынке за период времени t ; S_t – предложение внутренними производителями на внутреннем рынке за период времени t ; PA_t – текущая средняя цена на внутреннем рынке; μ – предполагаемая степень влияния на ожидаемую цену спро-

са внутренних потребителей и предложения внутренних производителей ($0 < m < 1$); γ – коэффициент пропорциональности влияния на цену разницы между спросом и предложением.

3. Спрос внутренних потребителей на внутреннем рынке за период времени t выражается степенной функцией (согласно (8)):

$$D_t = aPE_t^\kappa, \quad (22)$$

где a – эмпирический параметр уравнения спроса; κ – эластичность спроса по цене ($\kappa < 0$).

4. Предложение внутренних производителей на внутреннем рынке за период времени t выражается (согласно (10) и (14)):

$$S_t = \begin{cases} NC_t, & D_t > QM_t + ID_t - XD_t \\ bPE_t^\sigma + \frac{NS_t - u_t}{1 + e^{-\eta(\frac{NS_t}{u_t} - \omega)}}, & D_t \leq QM_t + ID_t - XD_t \end{cases}, \quad (23)$$

где b – эмпирический параметр уравнения предложения; σ – эластичность предложения по цене ($\sigma > 0$); η – параметр скорости роста логистической функции; ω – точка перегиба логистической функции; NC_t – потребление внутренней продукции на внутреннем рынке за период времени t ; QM_t – объемы поставок внутренней продукции на рынок за период времени t ; ID_t – объем импорта, обусловленный конкурентоспособностью импортируемой продукции на внутреннем рынке за период времени t ; XD_t – объем экспорта, обусловленный конкурентоспособностью внутренней продукции на внешнем рынке за период времени t ; NS_t – объем запасов внутренней продукции на внутреннем рынке в момент времени t ; u_t – экзогенно заданный верхний критический объем запасов товара на внутреннем рынке в момент времени t .

В случае отложенной реакции производителей на цену функция предложения от цены зависит от прошлого уровня цен, отстоящего от настоящего момента времени t на период n , и может описываться выражением

$$bPE_{t-n}^\sigma. \quad (24)$$

5. Уравнение текущей средней цены на внутреннем рынке:

$$PA_t = \frac{PE_t NC_t + PI_t IC_t}{NC_t + IC_t}, \quad (25)$$

где NC_t – потребление внутренней продукции на внутреннем рынке за период времени t ; IC_t – потребление импортированной продукции на внутреннем рынке за период времени t ; PI_t – цена импортированной продукции на внутреннем рынке за период времени t .

6. Цена импорта определяется функцией регулирования импорта:

$$PI_t = f(w_t, r_t, \{k_t\}, \{h_t\},), \quad (26)$$

где w_t – экзогенно заданная мировая цена в период времени t ; r_t – экзогенно заданный обменный курс национальной валюты в период времени t ; $\{k_t\}$ – экзогенно заданный набор параметров тарифного регулирования импорта в

период времени t ; $\{h_t\}$ – экзогенно заданный набор параметров нетарифного регулирования импорта в период времени t . Простым примером такой функции может служить прямое увеличение мировой цены на величину ставки ввозной таможенной пошлины:

$$PI_t = w_t r_t (1 + k_t). \quad (27)$$

7. Цена экспорта определяется функцией регулирования экспорта:

$$PX_t = f(w_t, r_t, \{n_t\}, \{m_t\}), \quad (28)$$

где $\{n_t\}$ – экзогенно заданный набор параметров тарифного регулирования экспорта в период времени t ; $\{m_t\}$ – экзогенно заданный набор параметров нетарифного регулирования импорта в период времени t . Простым примером такой функции может служить прямое уменьшение мировой цены на величину ставки вывозной таможенной пошлины:

$$PX_t = w_t r_t (1 - n_t). \quad (29)$$

Также допускается применение табличных функций регулирования импорта и экспорта. Цена остаточного объема экспорта, обусловленного образованием излишков внутренней продукции на внутреннем рынке, может быть определена с дисконтом.

БЛОК 2. Моделирование внутреннего потребления и импорта.

8. Прирост совокупного количества продукции TC_t , потребленной на внутреннем рынке с начала модельного времени к моменту времени t задается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial TC_t}{\partial t} = NC_t + ID_t + IG_t, \quad (30)$$

где ID_t – объем импорта, обусловленный конкурентоспособностью импортируемой продукции на внутреннем рынке за период времени t ; IG_t – объем импорта, обусловленный нехваткой внутренней продукции на внутреннем рынке за период времени t .

9. Объем импорта, обусловленный конкурентоспособностью импортируемой продукции на внутреннем рынке за период времени t , определяется при помощи модели Армингтона (согласно (17)):

$$ID_t = g^\varepsilon D_t \left(\frac{PI_t}{PE_t} \right)^{-\varepsilon}, \quad (31)$$

где g – эмпирический параметр, отражающий склонность потребления к импорту вообще, обусловленный географическими, имиджевыми, качественными и другими факторами ($0 < g < 1$); ε – постоянная перекрестная эластичность спроса на импортный товар по цене товара внутреннего производства ($\varepsilon > 0$).

10. Потребление внутренней продукции на внутреннем рынке за период времени t определяется условной функцией:

$$NC_t = \begin{cases} D_t - ID_t, & NS_t > l_t \\ 0, & NS_t \leq l_t \end{cases}, \quad (32)$$

где NS_t – объем запасов внутренней продукции на внутреннем рынке в мо-

мент времени t ; l_t – экзогенно заданный нижний критический объем запасов товара на внутреннем рынке в момент времени t .

11. Объем импорта, обусловленный нехваткой внутренней продукции на внутреннем рынке за период времени t , определяется условной функцией:

$$IG_t = \begin{cases} 0, & NS_t > l_t \\ D_t - ID_t, & NS_t \leq l_t \end{cases} \quad (33)$$

12. Прирост совокупного количества импортированной продукции IT_t на внутреннем рынке с начала модельного времени к моменту времени t задается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial IT_t}{\partial t} = ID_t + IG_t. \quad (34)$$

13. Потребление импортированной продукции на внутреннем рынке за период времени t определяется, как:

$$IC_t = IT_t - IT_{t-1}. \quad (35)$$

14. Прирост совокупных расходов потребителей CH_t на товар с начала модельного времени к моменту времени t задается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial CH_t}{\partial t} = PE_t NC_t + PI_t (ID_t + IG_t). \quad (36)$$

15. Совокупные расходы потребителей на приобретение товара за период времени t рассчитываются, как:

$$CC_t = CH_t - CH_{t-1}. \quad (37)$$

БЛОК 3. Моделирование внутреннего производства и экспорта.

16. Периодические объемы внутреннего производства продукции Q_t определяются на основании производственной функции:

$$Q_t = f(\{q_t\}, t), \quad (38)$$

где $\{q_t\}$ – экзогенно заданный набор параметров, описывающий размеры факторов внутреннего производства в период времени t . Примерами производственных функций, применяемых в данной модели, могут служить:

$$Q_t = c, \quad Q_t = a + bt, \quad Q_t = AK_t^\alpha L_t^{1-\alpha}. \quad (39)$$

В случае использования в модели годовых производственных исходов Q_t может определяться долями экзогенно заданного общего количества продукции y_j , произведенной в текущем году j и прошедшем году $j-1$, направляемых на рынок в период времени t , определяемых функционально при помощи наборов параметров $\{o\}$:

$$Q_t = f(y_j, \{o\}) + f(y_{j-1}, \{o\}). \quad (40)$$

Также возможно применение табличных функций производства.

17. Прирост совокупного количества продукции, произведенной внутренним производителем QA_t , задается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial QA_t}{\partial t} = Q_t. \quad (41)$$

18. Объемы нетоварного использования продукции QP_t , определяются на основании функции:

$$QP_t = f(Q_t, \{p_t\}, t), \quad (42)$$

где $\{p_t\}$ – экзогенно заданный набор параметров, описывающий логику определения доли внутреннего производства, направляемого на нетоварное использование в период времени t . При необходимости данное уравнение может быть модифицировано для определения количества продукции, настолько глубоко переработанной, что в дальнейшем не рассматривается на рынке исходной продукции.

19. Объемы поставок внутренней продукции на рынок QM_t определяются, как:

$$QM_t = Q_t - QP_t. \quad (43)$$

20. Объем экспорта, обусловленный конкурентоспособностью внутренней продукции на внешнем рынке за период времени t , определяется при помощи модифицированной модели Армингтона (согласно (18)):

$$XD_t = \begin{cases} z_t, & z_t - d^{1/\lambda} QM_t \left(\frac{PE_t}{PX_t}\right)^{-1/\lambda} < 0 \\ d^{1/\lambda} QM_t \left(\frac{PE_t}{PX_t}\right)^{-1/\lambda}, & z_t - d^{1/\lambda} QM_t \left(\frac{PE_t}{PX_t}\right)^{-1/\lambda} \geq 0 \end{cases}, \quad (44)$$

где d – эмпирический параметр, отражающий склонность производителей к экспорту вообще, обусловленный географическими, имиджевыми, качественными и другими факторами ($0 < d < 1$); λ – эластичность предложения продукции внутренних производителей на мировой рынок от цены экспорта ($\lambda > 0$); z_t – экзогенно заданный верхний предел экспорта в момент времени t .

21. Остаточный объем экспорта в период времени t , обусловленный образованием излишков внутренней продукции на внутреннем рынке, определяется, как:

$$XO_t = \begin{cases} z_t - XD_t, & z_t - XD_t > NS_t - l_t \\ NS_t - l_t, & z_t - XD_t \leq NS_t - l_t \end{cases}. \quad (45)$$

22. Прирост объема запасов внутренней продукции на внутреннем рынке NS_t задается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial NS_t}{\partial t} = NS_0 + QM_t - NC_t - XD_t - XO_t, \quad (46)$$

где NS_0 – объем запасов внутренней продукции на внутреннем рынке на дату начала имитации.

23. Прирост совокупного количества экспортированной на мировой рынок продукции XT_t с начала модельного времени к моменту времени t задается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial XT_t}{\partial t} = XD_t + XO_t. \quad (47)$$

24. Поставки экспортной продукции на мировой рынок за период времени t определяется, как:

$$XC_t = XT_t - XT_{t-1} \quad (48)$$

25. Прирост дохода производителей GAt с начала модельного времени к моменту времени t задается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial GA_t}{\partial t} = PE_t NC_t + PX_t XD_t + \dot{P}X_t XO_t + i_t QP_t, \quad (49)$$

где i_t – экзогенно заданный норматив дохода производителя в расчете на единицу нетоварной продукции; $\dot{P}X_t$ – цена остаточного экспорта, может быть ниже обычной экспортной цены.

26. Доходы производителей за период времени t рассчитываются, как:

$$GC_t = GA_t - GA_{t-1} \quad (50)$$

Заключение

Описанная в данном исследовании имитационная модель развития АПР может быть реализована при помощи специализированного ПО, поддерживающего идеологию системной динамики: AnyLogic, VenSim, Simulink, Stella, OpenModelica, Simantics System Dynamics и др. Апробация модели предполагает оценку параметров функций цены, спроса, предложения, экспорта и производства. Некоторые из них, например параметры производства, могут быть получены на основе трендовых моделей, другие, в частности, параметры эластичности спроса и предложения, могут быть взяты из открытых источников (подобные данные по регионам мира и странам Восточной Европы приводятся в [7, 8, 9, 10]). Значения третьих параметров, таких как эластичность импорта по внутренней цене, склонность потребления зарубежной продукции и доля «постоянного» экспорта, предлагается определять по результатам калибровки модели на фактических данных или же при помощи экспертных оценок.

Направленный вычислительный эксперимент предлагаемой имитационной модели развития АПР предполагает оценку выходных переменных модели (объемов потребления, импорта, экспорта, уровней цен, затрат потребителей, доходов производителей и пр.) при заданных экзогенных параметрах (профилей стратегии регулятора, динамики производства, мировых цен, обменного курса и т.п.). На основе полученных оценок могут быть составлены альтернативные сценарии развития рынка АПР. Кроме того, вычислительный эксперимент над данной имитационной моделью может быть направлен на поиск тех параметров профилей стратегий регулятора, при которых достигается оптимальный отклик модели.

Список источников

1. Коврижных А.Ю. *Дифференциальные и разностные уравнения*. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2014.
2. Колемаев В.А. *Математическая экономика: учебник для вузов*. 2-е изд., перераб. и доп. Москва, ЮНИТИ-ДАНА, 2002.
3. Лычкина Н.Н. *Имитационное моделирование экономических процессов*. Москва, ИНФРА-М, 2012.
4. Семенычев В.К., Коробецкая А.А., Кожухова В.Н. *Предложения эконометрического инструментария моделирования и прогнозирования эволюцион-*

ных процессов. Самара, САГМУ, 2015.

5. Шпилько Я.Е., Соломко А.А., Паровик Р.И. Параметризация уравнения Самуэльсона в модели Эванса установления равновесной цены на рынке одного товара // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. Петропавловск-Камчатский, 2012, no. 2 (15), с. 33-36.

6. Armington P.S. A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production // *Staff Papers (International Monetary Fund)*, 1969, vol. 16, no. 1, pp. 159-178.

7. Araujo Enciso S., Perez Dominguez I., Santini F., Hélaine S. et al. *Documentation of the European Commission's EU module of the AglinkCosimo modelling system*. Luxemburg, Publications Office of the European Union, 2015.

8. Cupak A., Pokrivcak J., Rizov M. Food

Demand and Consumption Patterns in the New EU Member States: The Case of Slovakia // *Ekonomický časopis*, 2015, no. 63, pp. 339-358.

9. Femenia F. *A meta-analysis of the price and income elasticities of food demand*. Rennes, Working Paper Smart-LERECO, no. 19-03, 2019.

10. Jankiewicz M. The Convergence of Food Expenditures in the European Union Countries – a Spatio-Temporal Approach // *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Oeconomica*, 2019, no. 1 (340), pp. 91-106.

11. Uzawa H. Production Functions with Constant Elasticities of Substitution // *The Review of Economic Studies*, 1962, vol. 29, no. 4, pp. 291-299.

12. Zandt T., van. *Firm, Prices and Markets*. Fontainebleau, INSEAD, 2012.

THE CONCEPT OF AGRIFOOD MARKETS DEVELOPMENT SIMULATION MODEL

Tiutiunikov Aleksandr Aleksandrovich, Cand. Sc. (Econ.), Assoc. Prof.

RIEOAIC of CBER – branch of FGBSI «Voronezh FASC named after V.V. Dokuchaev»,
Serafimovicha st., 26a, Voronezh, Russia, 394042; e-mail: tytnn@rambler.ru

Purpose: the article deals with the issues of using system-dynamic tools for simulation modeling of agricultural raw materials and food markets. *Discussion:* the approach proposed in the study is based on continuous-deterministic modeling of production processes, distribution and consumption, prices, supply and demand. The author presents the following model hypotheses: 1) partial market equilibrium resulting from the mutual influence of prices, supply and demand; 2) dynamic consumers and manufacturers preferences (including non-price ones); 3) the specific supply pattern due to the agricultural features; 4) the possibility of intervention by government regulators. In accordance with these hypotheses, the key model mechanisms have been developed: the partial market equilibrium mechanism based on the modified Evans model, the import and export mechanisms based on the Armington model, the delayed supply response mechanism, the price shock mechanism, etc. *Results:* the article contains the description, visualization of the proposed model in accordance with the system dynamics ideology. The author outlines the main directions of proposed model approbation and simulation experimentation.

Keywords: market of agricultural raw materials and food, agro-industrial complex simulation modeling, system dynamics, Evans model, Armington model, price shock model.

References

1. Kovrizhnyh A.Yu. *Differencialnye i raznostnye uravneniya* [Differential and difference equations]. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta, 2014. (In Russ.)
2. Kolemaev V.A. *Matematicheskaya ekonomika: uchebnyk dlya vuzov*. [Mathematical economics: textbook for universities]. 2-nd ed., rev. Moscow, YUNITI-DANA, 2002. (In Russ.)
3. Lychkina N.N. *Imitacionnoe modelirovanie ekonomicheskikh processov* [Simulation modelling of economic processes]. Moskva, INFRA-M, 2012. (In Russ.)
4. Semenychev V.K., Korobeckaya A.A., Kozhuhova V.N. *Predlozheniya ekonometricheskogo instrumentariya modelirovaniya i prognozirovaniya evolyucionnyh processov* [Proposals of economic tools for modeling and forecasting evolutionary processes]. Samara, SASMU, 2015. (In Russ.)
5. Shpilko Ya.E., Solomko A.A., Parovik R.I. Parametrizaciya uravneniya Samuelsona v modeli Evansa ustanovleniya ravnovesnoj ceny na rynke odnogo tovara [Parametrization of the Samuelson equation in the Evans model of establishing the equilibrium price in the market for one product]. *Bulletin KRASEC. Physical & Mathematical Sciences*, Petropavlovsk-Kamchatskii, 2012, no. 2 (15), pp 33-36. (In Russ.)
6. Armington P.S. A Theory of Demand

for Products Distinguished by Place of Production. *Staff Papers (International Monetary Fund)*, 1969, vol. 16, no. 1, pp. 159-178.

7. Araujo Enciso S., Perez Dominguez I., Santini F., Hélaïne S. et al. *Documentation of the European Commission's EU module of the AglinkCosimo modelling system*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2015.

8. Cupak A., Pokrivcak J., Rizov M. Food Demand and Consumption Patterns in the New EU Member States: The Case of Slovakia. *Ekonomický časopis*, 2015, no. 63, pp. 339-358.

9. Femenia F. *A meta-analysis of the price and income elasticities of food demand*. Rennes, Working Paper Smart-LERECO, no. 19-03, 2019.

10. Jankiewicz M. The Convergence of Food Expenditures in the European Union Countries – a Spatio-Temporal Approach. *Acta Universitatis Lodzianae. Folia Oeconomica*, 2019, no. 1 (340), pp. 91-106.

11. Uzawa H. Production Functions with Constant Elasticities of Substitution. *The Review of Economic Studies*, 1962, vol. 29, no. 4, pp. 291-299.

12. Zandt T., van. *Firm, Prices and Markets*. Fontainebleau, INSEAD, 2012.